

# 多式海陆联运方式与路径智能化规划平台的设计

罗 云,梁春美,胡云琴,郑卫娟

(武警海警学院 信息技术教研室,浙江 宁波 315801)

**摘要:**多式海陆联运能够有效节约运输成本与时间。为解决多式海陆联运方式与路径规划问题,提出了一种免疫遗传改进算法。该算法通过引入免疫机制,来提升遗传算法的全局搜索能力和收敛速度,其能够有效抑制遗传算法易于陷入局部收敛的缺陷。此外,还给出了一种多式海陆联运方式与路径智能化规划平台的设计。仿真验证表明,所提免疫遗传算法具有良好的全局优化性能,其能够得到理想规划方案。

**关键词:**多式海陆联运;路径规划;遗传算法;免疫

**中图分类号:**U116.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-9759(2022)04-0009-04

## Design of Intelligent Planning Platform for Multimodal Sea and Land Combined Transport Mode and Path

LUO Yun, LIANG Chunmei, HU Yunqin, ZHENG Weijuan

(China Coast Guard Academy, Department of computer application, Ningbo 315801, China)

**Abstract:** It can effectively save transportation cost and time by multimodal sea and land combined transport. In order to solve the problem of multimodal sea and land combined transportation mode and path planning effectively, an improved immune genetic algorithm is proposed. An immune mechanism is introduced to improve the global search ability and convergence speed of genetic algorithm, and the defect that genetic is prone to local convergence can be improved effectively. In addition, a design of intelligent planning platform for multimodal sea and land combined transport mode and path is also given. The simulation results show that the proposed algorithm has good global optimization performance and can plan an ideal planning scheme.

**Key words:** Multimodal sea and land combined transport; path planning; genetic algorithm; immune

### 0 引言

多式海陆联运是一种不可或缺的重要运输方式,它是海

岸线上不同港口之间的一种能够有效节约运输成本与时间的重要运输方式。随着海上运输事业的飞速发展,多式海陆联

收稿日期:2022-03-11

**作者简介:**罗云(1979-),男,硕士研究生,武警海警学院信息技术教研室讲师,主要研究方向为神经网络、智能优化算法;梁春美(1979-),女,本科,武警海警学院信息技术教研室副教授,主要研究方向为软件工程、网络安全;胡云琴(1973-),女,本科硕士,武警海警学院网电对抗教研室教授,主要研究方向为信息指挥、计算机技术;郑卫娟(1979-),女,本科,武警海警学院信息技术教研室副教授,主要研究方向为数据挖掘及云计算资源调度算法。

将三种预测方法与真实轨迹进行对比,三维对比结果如图6所示。图6表明,基于ANN模型预测结果与真实轨迹相比,偏差较大,本文所提结合注意力机制和GRU的高机动试飞航空器轨迹预测最接近真实轨迹。

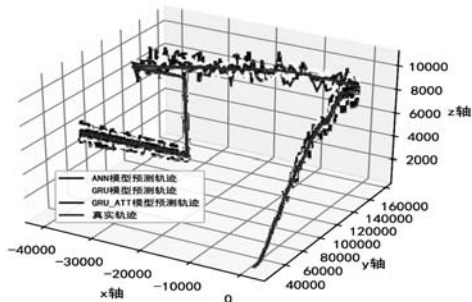


图6 三种模型轨迹预测对比

### 3 结语

本文所提基于GRU模型的高机动试飞航空器轨迹预测方法,采用注意力机制捕捉试飞科目设定的飞行轨迹,结合门控循环神经网络,对高机动试飞航空器进行飞行航迹预测,有效提高了高机动试飞航空器航迹估算的准确度。基于该航迹预测方法,建立高机动试飞航空器航迹预测模型,可以有效提升高机动试飞航空器防相撞检测精确度。

### 参考文献:

[1] 曾智悦.空管系统中告警技术的应用研究[D].四川大学,2005.  
[2] 郭运韬,朱衍波,黄智刚.民用飞机航迹预测关键技术研究[J].中国民航大学学报,2007,25(1):20-24.

[3] 徐正风,曾维理,羊钊.航空器轨迹预测技术研究综述[J].计算机工程与应用,2021,57(12):65-74.  
[4] 崔亚奇,熊伟,何友.不确定航迹自适应预测模型[J].航空学报,2019,40(5):236-245.  
[5] 谭伟,陆百川,黄美灵.神经网络结合遗传算法用于航迹预测[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2010,29(1):147-150.  
[6] 钱夔,周颖,杨柳静.基于BP神经网络的空中目标航迹预测模型[J].指挥信息系统与技术,2017,8(3):54-58.  
[7] WU Z J, TIAN S, MA L A. 4D trajectory prediction model based on the BP neural network[J]. Journal of Intelligent Systems, 2019, 29(1): 1545-1557.  
[8] 李楠,强懿耕,焦庆宇.一种基于反向神经网络的航空器飞行轨迹预测[J].科学技术与工程, 2019, 19(21): 330-335.  
[9] SHI Z Y, XU M, PAN Q, et al. LSTM-based flight trajectory prediction[C]//2018 International Joint Conference on Neural Networks(IJCNN), 2018: 1-8.  
[10] 石庆研,岳聚财,韩萍.基于LSTM-ARIMA模型的短期航班飞行轨迹预测[J].信号处理, 2019, 35(12): 2000-2009.  
[11] ZHANG X G, MAHADEVAN S. Bayesian neural networks for flight trajectory prediction: regression methods vs point-mass model[C]//ATM Seminar, 2013.  
[12] PANG Y T, LIU Y M. Conditional generative adversarial networks(CGAN) for aircraft trajectory prediction considering weather effects[C]//AIAA Scitech 2020 Forum, 2020: 1853.  
[13] PANG Y I, LIU Y M. Probabilistic aircraft trajectory prediction considering weather uncertainties using dropout as Bayesian approximate variational inference[C]//AIAA Scitech 2020 Forum, 2020: 1413.

运也日益完善。为实现高效省时省钱的多式海陆联运,多式海陆联运方式与路径智能规划平台尤为重要。

目前,多式联运研究备受学者关注。康凯研究了构建了运输方式选择和运输路径优化集成模型,设计了粒子群-蚁群双层优化算法,用以解决运输网络多节点、多方式、多路径的集成优化问题<sup>[1]</sup>。万杰等人以中俄贸易区间的运输路线与运输方式为研究对象,仅考虑公、铁、海3种运输方式之间的多式联运,设计了改进烟花算法以求解<sup>[2]</sup>。但通过免疫机制来提升智能优化算法全局优化性能的改进策略少有被关注。

本文基于仅考虑海、公、铁3种运输方式的多式海陆联运算例,给出了多式海陆联运方式与路径智能化规划平台的设计,提出了一种免疫遗传算法以求解。为验证免疫遗传算法的有效性,本文采用免疫遗传改进算法与传统遗传算法进行了仿真试验。试验结果表明,免疫遗传改进算法具有更优的全局收敛性能,其更合适应用于多式海陆联运方式与路径智能化规划平台。

## 1 多式海陆联运方式与路径智能化规划平台

### 1.1 多式海陆联运方式与路径规划问题

本文研究仅考虑海、公、铁3种运输方式的多式海陆联运问题。假设一批商品从A地运往B地,需经过多个中间节点,有海、公、铁3种运输方式,不同运输方式的运输速度与价格不同,在中间节点处不同运输方式间换装需要额外费用与时间。为有效节约运输时间与成本,需求解尽可能最佳的多式海陆联运方式与路径规划方案,从而达到有效节约运输时间与费用的双目标。具体的多式海陆联运方式与路径规划示意图如下图1所示。

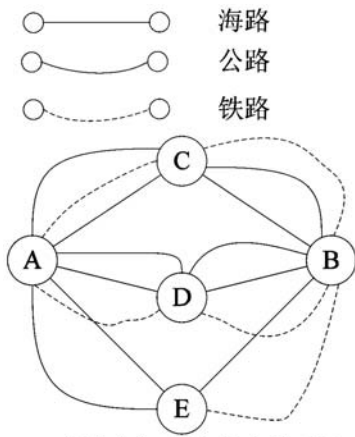


图1 多式海陆联运方式与路径规划示意图

如图1所示,商品从A地运往B地需经过中间节点C地、D地或者E地,其中,A地至C地、A地至D地、C地至B地、D地至B地均可选择海、公、铁3种运输方式,但A地至E地仅可选择海路运输或公路运输,E地至B地仅可选择海路运输或铁路运输。

显而易见,若中间存在相对较多的中间节点时,则求解有效节约运输时间与成本的多式海陆联运方式与路径规划方案就变得非常难。

### 1.2 多式海陆联运方式与路径规划模型

多式海陆联运方式与路径规划的目标是节约运输时间与成本。这需要,在考虑换装所需额外时间与费用的前提下,合理选择中间节点,并合理选择节点间运输方式。具体的多式

海陆联运方式与路径规划模型为:

$$\begin{aligned}
 & \begin{cases} T_{sum} + TC_{sum} \\ C_{sum} + CC_{sum} \\ T_{sum} = \sum_i \sum_{j(i)} \frac{D(j(i))}{V_{x(j(i))}} \\ TC_{sum} = \sum_i \sum_{j(i)} \sum_{x(j(i))} t_{j(i),j(i+1)} \\ C_{sum} = \sum_i \sum_{j(i)} C_{x(j(i))} D(j(i)) \\ CC_{sum} = \sum_i \sum_{j(i)} \sum_k c_{j(i),j(i+1)} \end{cases} \quad (1) \\
 & \begin{cases} F_b(j(i)), F_e(j(i)) \in [1, 2, \dots, ns] \\ x(j(i)) \in [1, 2, 3] \\ i_n \leq i_{max} \\ F_b(j(1)) = 1 \\ F_e(j(i_n)) = ns \\ F_b(j(i+1)) = F_e(j(i)) \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

公式(1)中, $T_{sum}$ 、 $TC_{sum}$ 、 $C_{sum}$ 、 $CC_{sum}$ 分别表示托运总时间、换装总时间、托运总成本、换装总成本; $j(i)$ 和 $x(j(i))$ 分别表示第*i*次托运的第*j*种出发节点与到达节点的节点选择方式及其运输方式; $i_n$ 和 $i_{max}$ 分别表示最大托运次数与最大托运限制次数; $F_b(j(i))$ 和 $F_e(j(i))$ 分别表示第*i*次托运的第*j*种出发节点和到达节点; $[1, 2, \dots, ns]$ 为节点编号,总计有 $ns$ 个节点,始发节点和终到节点分别记为1和 $ns$ ;  $V_{x(j(i))}$ 和 $C_{x(j(i))}$ 分别表示海、公、铁3种运输方式的运输速度及每公里运输,以上3种运输方式用[1, 2, 3]来标记。最大托运次数必须小于最大托运限制次数,  $i_n \leq i_{max}$ ;从始发节点出发,到终到节点停止,  $F_b(j(1))=1$ ,  $F_e(j(i_n))=ns$ ;当次到达节点即是下次始发节点,  $F_b(j(i+1))=F_e(j(i))$ 。

### 1.3 多式海陆联运方式与路径智能化规划平台设计

多式海陆联运方式与路径智能化规划平台旨在有效利用智能算法以获得尽可能最佳的多式海陆联运方式与路径方案而搭建的智能化平台。本文采用免疫遗传改进算法,因其引入了免疫机制,从而使得遗传算法具有强大的全局优化性能。具体的多式海陆联运方式与路径智能化规划平台设计原理图如图2所示。

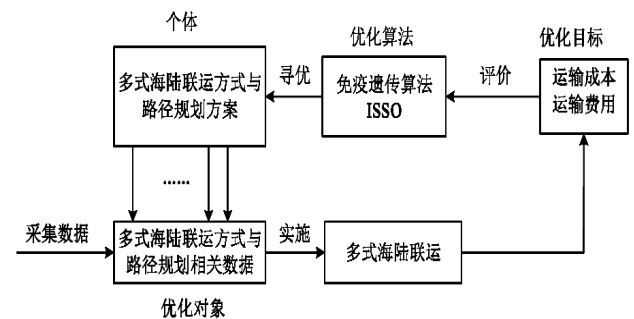


图2 多式海陆联运方式与智能化规划平台设计原理图

## 2 免疫遗传算法

### 2.1 遗传算法

遗传算法是仿照生物进化机制的一种智能化全局优化算法,其不仅借鉴了达尔文进化论思想,还吸收了孟德尔遗传学说的精髓。选择、交叉和变异是遗传算法中的三种基本操作,也被称作遗传算子,具体如下所述。

选择算子:在当前种群中挑选部分优质个体以形成新种

群。这是优胜劣汰、物竞天择思想的呈现。

交叉算子:将一些父代种群中的个体特征遗传至新种群。这是信息交换思想的呈现。

变异算子:对新种群中某个个体的个体特征进行改变。变异是新个体产生的主要方式。

## 2.2 免疫遗传算法

各种的人工免疫算法基于人类的免疫原理被提出。事实上,免疫机制中,抗原为群体中的当前全局最优解,抗体为群体中的普通个体,由于外部入侵对抗原的不断激励,新的抗体也随之产生,也就是免疫功能的实现机制<sup>[9]</sup>。倘若对其不施加控制,较高浓度的免疫细胞会整个种群形成垄断。因此,人工免疫算法依靠浓度选择机制对种群多样性进行维护,以避免其陷入局部收敛,从而提升其全局优化性能。显然,引入人工免疫算法中的浓度选择机制,对其优化效率的提升是有帮助的<sup>[9]</sup>。具体的浓度选择机制的抗体浓度及其浓度概率的计算公式如下所述:

$$D(x_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^{m+N} |f(x_i) - f(x_j)|} \quad (3)$$

$$P_d(x_i) = \frac{\frac{1}{D(x_i)}}{\sum_{i=1}^{m+N} \frac{1}{D(x_i)}} = \frac{\sum_{j=1}^{m+N} |f(x_i) - f(x_j)|}{\sum_{i=1}^{m+N} \sum_{j=1}^{m+N} |f(x_i) - f(x_j)|} \quad (4)$$

式(3)和(4)中, $f(x_i)$ 、 $D((x_i))$ 与 $P_d((x_i))$ 分别为群体的第*i*个个体的适应度函数值、抗体浓度及其浓度概率, $i=1, 2, \dots, m+N$ <sup>[4]</sup>。

采用基于浓度的选择机制,免疫系统会促进产生对抗原具有较大杀伤力的抗体;反之,也会抑制浓度较高且杀伤力较小的抗体。将浓度的选择机制引入遗传算法中,能有效调节个体在空间中的分布,以增强群体种群多样性的维护能力,从而使得提升算法收敛速度与精度。

## 3 仿真实验

本文给出了一种多式海陆联运方式与路径规划算例。该算例有7个节点1-7,分别记为1-7,1表示始发节点,7表示终到节点,2-6均为中间节点,它们之间,仅可以顺次运输。具体的相关数据如表1-表4所示。

表1 节点间运输路径的距离表

运输方式	1至2	2至3	3至4	4至5	5至6	6至7
公路	935	742	940	1285	933	1352
铁路	∞	1033	745	1370	806	1480
海路	835	796	1060	∞	1095	∞

表1中,部分节点间存在某种运输方式不可行的情况,即在距离表中用∞来表示。

表2 托运速度及费用表

运输方式	速度(km/h)	费用(元/km)
公路	55	604
铁路	90	1033
海路	70	796

表3 换装时间表

换装时间(h)	海路	公路	铁路
公路	0	4.3	5.1
铁路	4.3	0	3.2
海路	5.1	3.2	0

表4 换装费用表

换装费用(元)	海路	公路	铁路
公路	0	10828	9366
铁路	10828	0	7420
海路	9366	7420	0

为验证本文所提免疫遗传算法的有效性,采用本文提出的免疫遗传算法对上述多式海陆联运方式与路径规划算例进行了求解。具体结果为:1至2海路、2至3公路、3至4公路、4至5铁路、5至6铁路、6至7铁路,运输时间104小时5分钟,运输费用4675862元。具体的基于免疫遗传算法的运输时间与运输费用收敛曲线如图3和4所示。

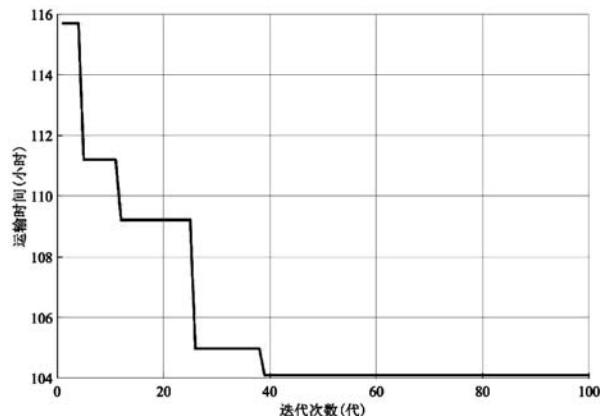


图3 基于免疫遗传算法的运输时间迭代收敛图

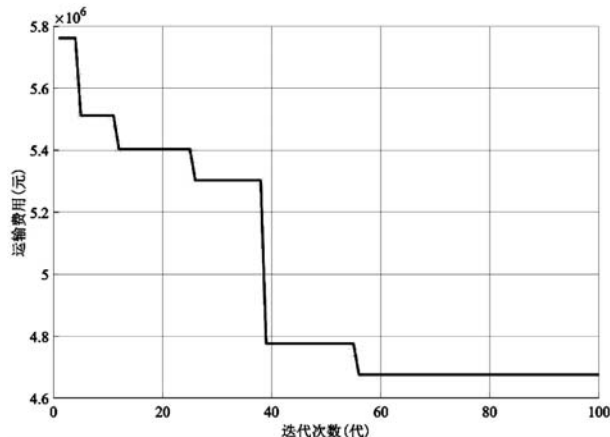


图4 基于免疫遗传算法的运输费用迭代收敛图

由图3和图4可知,免疫遗传算法具有较快的收敛速度,且能够寻优得到较理想的多式海陆联运方式与路径规划方案,其规划方案实施下,运输时间与运输费用都有着明显节省。

## 4 结语

针对多式海陆联运方式与路径规划问题,提出了一种免疫遗传算法。所提出的免疫遗传算法通过引入免疫机制以改善

# 主动声纳动目标空一时三维联合估计

龚美生

(第七一五研究所,浙江 杭州 310023)

**摘要:**文章发展空一时三维联合估计,将空-时接收数据形成为方位-时延-多普勒三维数据搜索空间,搜寻峰值点来获得目标方位-时延-多普勒估计。此外,将发射信号从窄带发展为宽带,相应的多普勒频移发展为多普勒伸缩,来提高时延和多普勒分辨率。仿真数据验证了三维联合估计的有效性,可以分辨出多个目标,也验证了宽带信号提高了分辨率。

**关键词:**方位-时延-多普勒;三维搜索空间;宽带分辨率;模糊度函数

**中图分类号:** TN927.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-9759(2022)04-0012-03

## 0 引言

主动声纳是水下目标探测的重要工具,其感兴趣的目标参量是(水平)方位、距离和径向速度等。目标参数估计的常规方法是利用波束形成来估计方位;利用时延-多普勒滤波来估计距离-径向速度<sup>[1]</sup>。

实际海洋十分复杂,目标探测面临着两个“一千倍”问题:可能存在的疑似目标是真实目标的一千倍,干扰的强度也是目标强度的一千倍,主动声纳需要在强干扰、多虚假目标的环境中分辨出真实目标。本文基于“增维”的思想<sup>[2-3]</sup>,发展空一时三维联合估计,形成方位-时延-多普勒三维数据搜索空间,将目标与干扰划分到多维的分辨单元中<sup>[4]</sup>,搜索三维数据的峰值位置,来实现多目标的分辨,并获得方位-时延-多普勒估计。

模糊度函数是时延-多普勒滤波的基本工具,它的时延维主瓣宽度衡量了时延分辨率,多普勒维主瓣宽度衡量了多普勒分辨率。窄带信号的多普勒效应应用多普勒频移表示,而宽带信号的多普勒效应需要利用多普勒伸缩表示<sup>[5-6]</sup>。

## 1 回波信号建模

假设自由场中存在声源和点目标,声源与目标距离为  $R$ ,两者的径向相对速度为  $v$ ,声源无指向性地发射脉冲信号  $s(t)$ ,目标反射形成回波,则声源处接收的信号可以表示为:

$$y(t) = e(t) + n(t) = \rho \cdot \sqrt{\beta} s(\beta(t - \tau)) + n(t) \quad (1)$$

$e(t) = \rho \cdot \sqrt{\beta} s(\beta(t - \tau))$  表示目标的回波信号,  $n(t)$  表示噪声。

幅值变化  $\rho$  反映了目标的反射系数与传播损失。时延  $\tau$  反映了声信号的传播路程,与目标距离  $R$ ,声速  $c$  的关系为:

$$\tau = \frac{2R}{c} \quad (2)$$

$\beta$  称之为多普勒伸缩,用来表示多普勒效应引起的回波波形的伸缩,与径向速度  $v$ 、声速  $c$  的关系为:

$$\beta = 1 + \frac{2v}{c} \quad (3)$$

当  $s(t)$  为窄带信号时,多普勒伸缩可以近似为多普勒频移,此时回波信号近似表示为:

$$e(t) = \rho s(t - \tau) e^{j2\pi\beta t} \quad (4)$$

$\beta$  在此处表示多普勒频移,

$$\beta = \frac{2v}{c} f_0 \quad (5)$$

因此,根据发射信号是否为窄带信号,将接收信号建模为两种形式:

$$y(t) = \rho \cdot s(t - \tau) e^{j2\pi\beta t} + n(t) \quad \text{窄带模型,}$$

$$y(t) = \rho \cdot \sqrt{\beta} s(\beta(t - \tau)) + n(t) \quad \text{宽带模型。}$$

## 2 模糊度函数

模糊度函数是发射波形设计与时延-多普勒滤波的基本工具,它将一个能量有限的脉冲或波形映射到一个两变量复值能量有限的函数集合,窄带模糊度函数定义为:

$$\chi_{ss}(\tau, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s^*(t - \tau) e^{-j2\pi\beta t} dt \quad (6)$$

PCW 模糊度函数的时延维的-3dB 主瓣宽度为,多普勒维为。由于 PCW 的时-带宽积等于 1,若增加信号时长,则多普勒分辨率提高,而时延分辨率降低;若降低信号时长,则时延分辨率提高,而多普勒分辨率降低。这体现了不确定性原理——二维分辨率,一维高,则另一维低。

理想的发射信号能在时延维和多普勒维同时获得较高的分辨率,一个途径是采用宽带信号。宽带信号能够独立的调节信号时长和带宽,进而可以独立地改变时延分辨率和多普勒分辨率。而发射信号为宽带信号时,应当利用多普勒伸缩来表示多普勒效应,相应的宽带模糊度函数定义为:

$$\chi_{ss}(\tau, \beta) = \sqrt{\beta} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s^*(\beta(t - \tau)) dt \quad (7)$$

时延-多普勒滤波对接收信号  $y(t)$  与发射信号  $s(t)$  求互

收稿日期:2022-02-15

作者简介:龚美生(1996-),男,浙江金华人,硕士研究生,研究方向:水声信号处理。

遗传算法的寻优性能,从而有效提高其全局搜索能力和收敛速度。本文基于多式海陆联运方式与路径规划问题,基于免疫遗传算法设计了智能化规划平台,并依靠平台寻优得到了较为理想的多式海陆联运方式与路径规划方案。由仿真结果可知,本文所提算法有着较佳的寻优性能。

## 参考文献:

[1] 康凯,牛海蛟,朱越杰,张维存.多式联运中运输方式与运输路径集成优化模型研究[J]. 计算机应用研究,2010,27(05): 1672-1675.

- [2] 万杰,龙云飞,陈星瀚.基于改进烟花算法的中俄商品多式联运路径优化 [J]. 天津大学学报 (自然科学与工程技术版), 2022,55(03):291-298.
- [3] Bo Yang. Dynamic risk identification safety model based on fuzzy support vector machine and immune optimization algorithm [J]. Safety Science,2019,118:205-211.
- [4] 陈勇,郑瀚,沈奇翔,刘焕淋.基于改进免疫粒子群优化算法的室内可见光通信三维定位方法 [J]. 电子与信息学报,2021,43(01):101-107.